Aus dem LVI. Bde. d. Sitzb. d. k. Akad. d. Wissensch. II. Abth. Oct.-Heft. Jahrg. 1867.

Über den Einfluß der Stromesdauer auf die elektrische Erregung der Muskeln.

Von **Ernst Brücke**,

wirklichem Mitgliede der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften.

(Vorgelegt in der Sitzung am 31. October 1867.)

Es ist eine Reihe von Gesichtslähmungen bekannt geworden, bei welchen die Therapeuten die Muskeln und ihre Nerven unerregbar fanden für Inductionsströme, während mit großer Leichtigkeit, ja mit größerer Leichtigkeit als auf der gesunden Seite, Contractionen erzielt wurden, wenn man Kettenströme hindurchleitete. Die ersten Fälle dieser Art wurden nicht lange nach einander von Baierlacher (Baierisches ärztliches Intelligenzblatt 1859, Nr. 4) und von B. Schulz (Wiener medicinische Wochenschrift 1860, Nr. 27) beschrieben. Im Jahre 1864 hat E. Neumann das Verständniß für diese Beobachtungen wesentlich gefördert, indem er an einem von ihm behandelten Kranken experimentell bewies, daß das Vermögen des Kettenstromes, die gelähmte Seite in Bewegung zu bringen, von seiner längeren Dauer abhing. Er brachte Kettenströme von sehr kurzer Dauer hervor, indem er den Kreis vorübergehend dadurch schloß, daß er mit einem Platindraht quer über die schmale Kante eines in einen Nichtleiter eingelassenen Platinblechs hinfuhr, und fand nun, daß die gelähmten Muskeln für solche Ströme, selbst wenn sie von einer vielelementigen Kette ausgingen, ähnlich unempfindlich waren, wie für Inductionsschläge. Der Einwurf, daß diese Ströme vielleicht nur deshalb nicht wirkten, weil sie nicht Zeit hatten, sich zu hinreichender Stärke zu entwickeln, wiederlegt sich, abgesehen von der großen Geschwindigkeit, mit der diese Entwickelung erfolgt, schon dadurch, daß dieselben Ströme auf der gesunden Seite heftige Zuckungen hervorriefen, während bei langsamem Schließen und Öffnen der Kette die kranke Seite sich nicht nur eben so empfindlich, sondern selbst empfindlicher erwies als die gesunde, wie dies auch B. Schulz bereits bei der Beschreibung der von ihm beobachteten Kranken hervorgehoben hatte.

E. Neumann stellte ferner Versuchsreihen an über das Verhalten absterbender Muskeln und Nerven [1]), und er fand, daß die Reizbarkeit für momentane Ströme viel schneller abnimmt, als für länger dauernde. Es zeigte sich dies, wenn er die Ströme durch den Muskel selbst sendete, und auch wenn er sie nur durch den Nerven gehen ließ. Er weist auf die Übereinstimmung der hier beobachteten Erscheinungen mit denen hin, welche ihm die gelähmten Gesichtsmuskeln des vorerwähnten Patienten darboten.

Ist diese Übereinstimmung eine vollständige? Bei den Froschpräparaten sank die Erregbarkeit für länger dauernde Ströme auch, sie sank nur langsamer als die für momentane; bei dem Kranken aber war die gelähmte Seite selbst erregbarer für die länger dauernden Ströme als die gesunde, und dasselbe beobachteten die übrigen Ärzte, denen ähnliche Fälle zur Behandlung kamen. Bei den Froschpräparaten gingen Nerven und Muskeln dem Absterben entgegen, bei den Kranken aber zeigten sich nur die Nerven für Reize aller Art unempfindlich, es erfolgten niemals Zuckungen bei sogenannter extramuskulärer oder indirecter Reizung, wenn aber eine der Elektroden auf den Muskel selbst gesetzt wurde, so zeigte sich die Reizbarkeit nur für kurz dauernde Ströme herabgesetzt, für länger dauernde keinesweges. E. Neumann sagt an einer Stelle seiner Krankengeschichte: „Zwischen beiden Seiten, der gesunden und der kranken, zeigt sich aber ferner, abgesehen von der größeren Reizbarkeit der letzteren, der wesentliche Unterschied, daß die gelähmten Muskeln nur auf dem Wege directer Muskelreizung, nicht aber durch indirecte extramuskuläre Reizung zur Zusammenziehung zu bringen sind, während auf der gesunden Seite ein Strom von 14 bis 16 Elementen auch dann Zuckungen erregt, wenn die eine Elektrode auf die Austrittsstelle des Faciales, die andere in die Nähe derselben gesetzt wird. Dieser Umstand könnte in Verbindung mit den giltigen Ansichten über die anatomischen Vorgänge, welche den rheumatischen Lähmungen zu Grunde liegen, die Vermuthung begründen, daß es sich auf der gelähmten Seite vielleicht um eine vollständige Degeneration oder wenigstens Functionsunfähigkeit der Nerven bis in ihre peripherischen Endigungen hinein handelt, und daß demnach die

---

[1]) Reichert und Du Bois Archiv für Anatomie und Physiologie 1864, S. 554.

durch den constanten Strom ausgelösten Zuckungen ohne Nervenvermittelung durch die Reizung der Muskelfasern selbst zu Stande kommen". E. Neumann scheint diese Vorstellung nicht zu der seinigen gemacht zu haben, da er nirgens auf dieselbe zurückkommt.

Einen größeren Werth legt ihr Hugo Ziemssen bei, der in der dritten Auflage seiner Elektricität in der Medicin S. 108 sagt: „Hiernach dürfte bei peripherischen Lähmungen die Ernährungsstörung in den lädirten Nerven das wichtigste Moment für die Genese der consecutiven Erregbarkeitsveränderungen gegen den elektrischen Strom sein", und auf Seite 109, wo er die Erscheinungen classificirt und ihnen die organischen Veränderungen gegenüberstellt, welche er für ihre Ursache hält: „Vierter Grad. Die Erregbarkeit der Nerven für den Willen und für beide Arten des elektrischen Stromes erloschen, dagegen die Irritabilität der Muskeln für den constanten Strom erhalten. — Völlige Entartung der Nerven bis in die Muskeln hinein". Ziemssen stützt sich einerseits auf die durch Duchenne bekannt gewordene und später von andern bestätigte Thatsache, daß bei Verwundungen, von denen Nerven mitbetroffen werden, die Erregbarkeit der von ihnen versorgten Muskeln für Inductionsschläge gewöhnlich in der zweiten Hälfte der ersten oder in der ersten Hälfte der zweiten Woche erlischt, und andererseits darauf, daß er in zwei derartigen Fällen, die er beobachtete, mittelst des constanten Stromes noch Contractionen hervorrufen konnte.

Ich bin in neuerer Zeit zu Versuchsresultaten gelangt, welche zu diesem Gegenstande in naher Beziehung stehen, und welche ich im Nachfolgenden mittheilen will.

Ich durchschneide einem auf ein durchlöchertes Brett aufgebundenen Frosche die *Plexus ischiadici*, indem ich zu beiden Seiten zwischen Steißbein und Darmbein eingehe. Es hat dies keinen anderen Zweck, als den, die Beine von allen willkürlichen und reflectirten Impulsen frei zu machen. Nun binde ich die Beine los und schiebe unter sie ein Paar auf eine Glasplatte aufgekittete amalgamirte Zinkelektroden, die mit einem Du Bois'schen Schlüssel in Verbindung stehen. Die Beine werden auf ihnen so gelagert, daß sie den Zwischenraum überbrücken, indem sie mit dem unteren Theile der Oberschenkel und den Kniegelenken auf der einen, mit den Füssen auf

der anderen ruhen. Mit dem Schlüssel ist ein Du Bois'sches Rheochord (von Sauerwald in Berlin) und mit diesem eine zweigliedrige Kette verbunden, hier und in den folgenden Versuchen bestehend aus Kohlen-Zink-Elementen mit der Wöhler-Buff'schen Chromflüssigkeit. Indem ich nun den Schlüssel abwechselnd öffne und schließe wird der Rheochordschieber so weit verschoben, daß eben die ersten schwachen Zuckungen eintreten und dann seine Stellung bemerkt. Diese Messungen werden gemacht, einmal indem die Ströme absteigend, das andere Mal indem sie aufsteigend durch die Schenkel gehen. Dann verbinde ich mit dem Schlüssel statt der Kette und des Rheochords einen Du Bois'schen Schlitten-Elektromotor und suche bei permanent oder zeitweise geöffneten Schlüssel die Stellung des Schlittens, bei der wiederum die ersten schwachen Zuckungen eintreten. Bei beiden Versuchen habe ich Gelegenheit mich zu überzeugen, daß beide Beine gleich oder nahezu gleich leicht erregbar sind.

Nun umschnüre ich den einen Oberschenkel nahe an seinem oberen Ende mit einem Bande, und vergifte das Thier vom Hinterhaupt aus mit Curare. Sobald vollständige Lähmung eingetreten ist, mache ich dieselben Messungen wie vorher. Beim Kettenstrom zeigt sich auch jetzt keine erhebliche Verschiedenheit beider Beine, und wenn eins früher zuckt als das andere, so ist es in der Regel das nicht umschnürte, das vergiftete. Ganz anders aber ist das Verhalten bei Anwendung des Elektromotors. Hier zeigt sich ein sehr erheblicher und ganz constanter Unterschied. Wenn das umschnürte Bein zu zucken beginnt, kann ich den Schlitten um ein gutes Stück, ja in einzelnen Fällen noch um 3 Centimeter hinaufschieben, ehe das andere Bein mitzuckt. Diese Verschiebung bedeutet um so mehr, als sie bei den von mir gebrauchten Mitteln und der actuellen Reizbarkeit der Frösche gerade da liegt, wo sich die secundäre Spirale der primären hart annähert und beginnt sich über sie hinaufzuschieben, also in einer Region, in der kleine Verschiebungen große Änderungen in der Stärke der Inductionsströme hervorbringen.

Will man die Ligatur vermeiden, so durchschneidet man zwei Fröschen die *Plexus ischiadici*, vergleicht sie auf die vorerwähnte Weise, vergiftet den einen mit Curare und vergleicht sie nach eingetretener Lähmung wieder. Auch hier zeigt sich in Folge der Vergiftung eine so entschiedene Depression der Erregbarkeit für den

Magnetelektromotor, daß das Resultat wesentlich dasselbe ist, wie in den vorerwähnten Versuchen.

Ich richtete nun einen Frosch ganz eben so zu, wie beim ersten Versuche, und vergiftete ihn nach Anlegung der Ligatur mit Curare. Nachdem Lähmung eingetreten war, brachte ich ihn auf die Elektroden und prüfte mittelst des Rheochords die Erregbarkeit für den Kettenstrom. Das vergiftete Bein zuckte früher als das unvergiftete. Dann brachte ich den Rheochordschieber auf Null zurück und schaltete zwischen Kette und Rheochord einen größeren Magnetelektromotor von Siemens und Halske in der Weise ein, daß der Extrastrom zum Rheochord abgeleitet war, während der Schlüssel, mit dem das Rheochord nach wie vor in Verbindung stand, bleibend geöffnet wurde. Nun setze ich, indem ich den Rheochordschieber weiter und weiter vom Nullpunkte fortschob, den Magnetelektromotor in Bewegung. Hier zeigte sich die Depression der Erregbarkeit für Inductionsschläge in noch auffallenderer Weise. Gleich beim ersten Versuche verhielten sich die Drahtlängen, welche eingeschaltet werden mußten, um das unvergiftete und das vergiftete Bein zucken zu machen, wie 1 zu 7, und bei einem späteren Versuche, in welchem keine Ligatur angelegt war, sondern die Reizbarkeit vor und nach der Vergiftung verglichen wurde, verhielten sich die Drahtlängen gar wie 1 zu 18. Man kann diesen Versuch für die Demonstration in recht handgreiflicher Weise anstellen. Man durchschneidet einem Frosche in der erwähnten Weise die *Plexus ischiadici*, umschnürt das eine Bein und vergiftet ihn. Nach eingetretener Lähmung legt man ihn auf die Elektroden, aber so, daß der Fuß des umschnürten Beines die Electrode nicht direct berührt, sondern etwas seitlich auf einem kleinen Lager ruht, das aus etwa acht Blättern nassen Fließpapiers von der Größe eines Quadratzolls besteht und seinerseits wieder theilweise auf der Elektrode aufliegt. Vermöge des größeren Leitungswiderstandes erhält es nun einen geringeren Stromantheil und man findet deshalb für den Schieber des mit einer Kette direct verbunden Rheochords leicht eine Stellung, bei welcher dies unvergiftete Bein während des abwechselnden Öffnens und Schließens des Schlüssels vollständig in Ruhe bleibt, das vergiftete aber beim jedesmaligen Öffnen deutlich zuckt. Nachdem man dies gezeigt, schaltet man den Elektromotor ein, dessen Extrastrom zum Rheochord abgeleitet wird, bringt den Rheochordschieber auf Null, öffnet den

Schlüssel bleibend und setzt nun, indem man den Rheochordschieber zu verschieben beginnt den Magnetelektromotor in Gang. Indem derselbe arbeitet, fährt man fort den Schieber weiter zu rücken bis das unvergiftete Bein zu zucken beginnt; man rückt weiter und weiter und zeigt, daß es sich im heftigen Tetanus streckt, und daß man dann den Schieber noch ein gutes Stück fortrücken kann, ehe auch das vergiftete Bein sich rührt.

Ich wünschte nun auch zu zeigen, daß es hier wie bei Neumann's Krankem die Stromesdauer sei, welche den so auffallenden Unterschied bedingt. Ich richtete deshalb einen Frosch ganz wie zum vorigen Versuche zu, verband mit dem Rheochord eine Kette aus vier Elementen und überzeugte mich, daß beim fortrücken des Schiebers und Öffnen und Schließen des Schlüssels das vergiftete Bein früher zuckte als das unvergiftete (wo dies nicht deutlich ist, bringt man es wie im vorigen Versuche durch abweichende Lagerung des unvergifteten Beines hervor), schaltete bei geschlossenem Schlüssel das Rheochord aus und ein Rheotom ein. Dasselbe bestand in einem messingenen Zahnrade von einem Decimeter Radius, das durch einen Schnurlauf in schnelle Umdrehung versetzt werden konnte, während ein Kupferblech mit seinem scharfen Rande auf den 90 spitzbogenförmigen Zähnen schleifte. Nachdem es, durch einen Gehilfen gedreht, die hinreichende Geschwindigkeit erlangt hatte, öffnete ich den Schlüssel, und nun gerieth das unvergiftete Bein in heftige Zuckungen, während das vergiftete ganz ruhig liegen blieb.

Ich habe außerdem noch folgenden Versuch angestellt. Nachdem ein Frosch wie gewöhnlich zugerichtet und vergiftet auf die Elektroden gelegt war, verband ich mit dem offenen Schlüssel die Inductionsrolle des großen Electromotors, und setzte ihn bei möglichst weit abgeschobener Inductionsrolle in Gang. Dann näherte ich diese langsam bis das unvergiftete Bein heftig zuckte, während das vergiftete ruhig da lag. Nun stellte ich den Hammer so fest, daß der primäre Stromkreis bleibend geschlossen war, und schob die Inductionsrolle rasch und vollständig auf die primäre hinauf. Indem ich so einen Inductionsstrom von größerer Dauer hervorbrachte, zuckten beide Beine. Durch einen leichten Kunstgriff gelang es mir, den Versuch auch so anzustellen, daß nur das vergiftete Bein zuckte, das unvergiftete in Ruhe blieb. Ich schob die Inductionsrolle wieder bis zu der Stelle zurück, von der aus ich die schnelle Verschiebung

derselben begonnen hatte, und setzte den Elektromotor wieder in Gang. Ich ließ ihn einige Zeit arbeiten, während welcher sich die Muskeln des nicht vergifteten Beines durch heftige Contractionen ermüdeten, die des vergifteten aber, obgleich die Inductionsschläge durch sie in derselben Stärke hindurch gingen, ruhten. Wenn ich nun wiederum den primären Kreis bleibend schloß und die Inductionsrolle rasch hinaufschob, so zuckte nur das vergiftete Bein. Prüfte ich hinterher die Empfindlichkeit beider gegen die Inductionsschläge des arbeitenden Electromotors, so zeigte sich das nicht vergiftete Bein trotz seiner Ermüdung noch immer als das bei weitem leichter erregbare.

Man mag verschiedener Meinung darüber sein, in welcher Art und Weise die Curare-Vergiftung die Muskeln vom Einfluße ihrer Nerven befreite, darüber, ob dabei die innerhalb des Sarkolemma liegenden Endapparate functionsunfähig werden, oder ob sie elektrischen Reizen noch als Angriffspunkt dienen können; das aber ist außer Zweifel, daß die elektrischen Reize auf dergleichen Muskeln nach ganz anderen Gesetzen wirken, als diejenigen sind, welche da Platz greifen, wo die Nerven als solche functionsfähig sind.

Vergleicht man nun diese Muskeln und ihr Verhalten mit denen der obenerwähnten Kranken, so ist es klar, daß die Unempfindlichkeit gegen momentane Ströme, eben so wie die Unmöglichkeit, die Muskeln auf irgend eine Weise vom Nervenstamm aus in Zusammenziehung zu bringen, sich leicht erklärt unter der Annahme einer bereits zu einem gewissen Grade fortgeschrittenen Degeneration der Nerven. Die mit Curare vergifteten Frösche geben hier eine vollkommenere Parallele als die von E. Neumann untersuchten absterbenden Froschpräparate; denn an letzteren konnten durch länger dauernde Ströme von mäßiger Stärke noch Contractionen von Nerven aus erzielt werden, wenn viel stärkere aber momentane Ströme schon ihre Wirkung eingebüßt hatten. Bei den vergifteten Fröschen aber sind die Nervenstämme, eben so wie es der Facialis der erwähnten Kranken war, für länger dauernde Ströme, selbst solche von bedeutender Stärke, eben so unempfindlich, wie gegen Inductionsschläge. Es kann uns auch nicht paradox erscheinen, wenn in ein oder dem anderen Falle von Gesichtslähmung die willkürliche Beweglichkeit zurückkehrt, während die elektrische Erregbarkeit der Nerven noch ausbleibt, und die Inductionsschläge auch durch die Muskeln selbst gesendet noch keine Bewegung hervorrufen; denn es fehlt uns jeder

Maaßstab für die Wirkungsgröße der Willensreize gegenüber der der elektrischen Reize, welche wir anwenden. Selbst wenn die Beweglichkeit anscheinend normal ist, wenn die Muskeln der kranken Seite ihren Antagonisten auf der gesunden Seite das Gleichgewicht halten, kann die Erregbarkeit ihrer Nerven tief unter der Norm stehen. Es können sich eben die centralen Reize in der Intention auf die gelähmten Muskeln zu wirken so weit gesteigert haben, daß trotz der noch herabgedrückten Functionsfähigkeit der Nerven die Muskeln im Stande sind, ihren gesunden Antagonisten das Gleichgewicht zu halten, da diese ja nur mit einem geringen Bruchtheile ihrer Leistungsfähigkeit in Action treten.

Wenn umgekehrt die Muskeln nicht willkürlich bewegt, aber durch Inductionsschläge zur Zusammenziehung gebracht werden können, so ist dies meiner Ansicht nach auch für schon länger bestehende Störungen so zu interpretiren, daß sich hier Muskeln und Nerven, da wo sie erregt wurden, noch in ziemlich gutem Zustande befanden, während die centralen Erregungen entweder ungewöhnlich schwach waren, oder wegen irgend eines höher gelegenen Hindernisses nicht oder sehr geschwächt zu den Muskeln gelangten. Eben so leicht erklärt es sich nach den oben mitgetheilten Versuchen, daß die gelähmten Muskeln relativ leicht erregbar für länger dauernde Ströme waren, wenn dieselben durch ihre Substanz geleitet wurden; schwieriger ist es, die Frage zu beantworten, weshalb sich die gelähmten Muskeln bei solcher Anordnung geradezu reizbarer zeigten als die der gesunden Seite.

Ich habe freilich oben gesagt, daß in meinen Versuchen beim Durchleiten der Kettenströme das vergiftete Bein in der Regel früher zuckte, als das gesunde, wenn sich überhaupt eine Ungleichheit zwischen beiden nachweisen ließ; aber daraus folgt nicht, daß die Erregbarkeit seiner Muskeln erhöht war, denn die des unvergifteten Beines war in Folge der Aufhebung der Circulation gesunken. Daß in Folge der Vergiftung die Reizbarkeit auch für Kettenströme abnimmt, davon überzeugt man sich, indem man einen Frosch, dem man die *Plexus ischiadici* durchschnitten hat, mittelst Öffnen des Schlüssels im absteigenden und aufsteigenden Strome auf das Eintreten der Schließungszuckung prüft, ihn dann mit Curare vergiftet und die Prüfung in derselben Weise wiederholt. Das Sinken, welches man hier beobachtet, ist im Verhältniß zu dem jähen Abfall, der in der Erregbarkeit für Inductionsschläge eingetreten ist, unbedeutend und

in der That bisweilen so geringe, daß es sich bei den Unregelmäßigkeiten, welche diese Versuche darbieten, nicht für beide Stromesrichtungen mit voller Evidenz nachweisen läßt; aber ein Steigen der Erregbarkeit für Kettenströme habe ich in Folge der Vergiftung niemals wahrgenommen. Woher rührt also die Steigerung in der gelähmten Gesichtshälfte? Es lassen sich dafür zweierlei mögliche Ursachen denken: erstens es gelangen in den Facialisbahnen außer den bewegenden Impulsen auch hemmende in die Muskeln und diese sind nun gleichfalls ausgeschlossen, zweitens die Erregbarkeit der Muskeln steigert sich eine Zeit lang, während sie vom Centrum aus nicht mehr erregt werden, sich aber übrigens noch in voller Integrität und in gutem Ernährungszustande befinden. Es würde also in erster Reihe nothwendig sein, den Stand der Muskelerregbarkeit unmittelbar nach der Compression oder Durchschneidung der Nerven zu kennen, aber wir besitzen kein Mittel uns über denselben zu unterrichten, so lange die intramusculären Nerven ihre volle Functionsfähigkeit bewahrt haben, weil wir dann nicht wissen, in wie weit sie, und in wie weit die Muskeln dem Reize als Angriffspunkt dienen.

Aus der k. k. Hof- und Staatsdruckerei in Wien.